

Geología de Marte, nuestro inquietante vecino



Luis A. Spalletti

Los avances de los últimos tiempos en el conocimiento geológico de diversas regiones de Marte, han permitido efectuar interpretaciones novedosas de su evolución y los procesos que operaron tanto en su interior como en su superficie. Ahora sabemos mucho más de las rocas, de los ambientes donde se formaron y de los cambios climáticos acaecidos a lo largo de la compleja y apasionante historia del planeta rojo.

Principales misiones y métodos de estudio

El conocimiento geológico y meteorológico de Marte ha tenido un desarrollo verdaderamente espectacular durante los últimos 50 años. El motivo para semejante crecimiento es el envío de numerosas misiones por parte de agencias espaciales de diversos países, en especial de Estados Unidos. Estas misiones, que se iniciaron con la exploración del Mariner 4 (1965), continuaron ininterrumpidamente y consistieron en el envío de dispositivos orbitales munidos de instrumental para sensoramiento remoto, así como equipos que tuvieron la capacidad para posarse (*landers*) y desplazarse (*rovers*) por la superficie del planeta. En el cuadro se muestran los mayores hitos en el estudio de nuestro apasionante vecino.

Principales misiones y métodos de estudio

Mariner 4 (1965). Primer sobrevuelo con éxito de Marte. Primeras imágenes de su superficie.

Mars 3 Lander (URSS) (1971). Primer descenso exitoso (20 segundos).

Viking 1 y 2 (1975/76). Ambos equipados con sonda orbital y un módulo de descenso (*lander*). Experimentos con objetivos biológicos, meteorológicos, detección de vapor de agua. Total 47.000 imágenes superficiales desde el orbitador y 1700 imágenes del *lander*.

En las sucesivas décadas se diseñaron y enviaron numerosos equipos espaciales (orbitadores y exploradores superficiales: *landers and rovers*) de misiones norteamericanas, rusas, inglesas y japonesas.

Los más importantes equipamientos

Mars Pathfinder (1996). Primer vehículo robótico de exploración (*rover*). Investigaciones geológicas y climáticas.

Mars Global Surveyor (1997). Equipado con Mars Orbiter Camera, Mars Orbiting Laser Altimeter. Ensayos de cambio de órbita y de procesos de frenado.

Mars Odyssey (2001). Orbitador para estudios climáticos y de mapeo superficial en conexión con robóticos en superficie de Marte.

Mars Express (2003). Europeo, con orbitador y *lander* (*Beagle 2*). Objetivos biológicos y geoquímicos.

Mars Exploration Rover Opportunity (2003-2004) y Mars Exploration Rover Spirit (2004). Son dos vehículos robóticos. Primeras imágenes panorámicas (fotomontajes) de la superficie. Opportunity envía los primeros datos sobre rocas sedimentarias depositadas por acción del agua. Spirit, equipado con dos espectrómetros (de rayos X y Mossbauer) efectúa la primera perforación, detecta una roca volcánica con efectos de descomposición de sus minerales por acción del agua.

Mars Reconnaissance Orbiter (2006). Explorador de potenciales zonas de descenso para futuras misiones. High Resolution Imaging Science Experiment (HiRISE) que consiste en un telescopio que permite detectar objetos del orden de 1 m en la superficie marciana.

Phoenix Lander (2008). Importante por estar equipado con un muestreador de hielo.

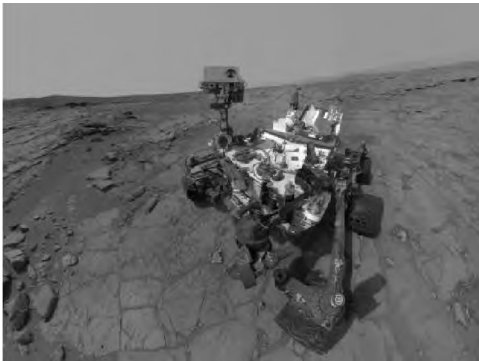
Mars Science Laboratory – Curiosity (2012).

Maven – Mars Atmosphere and Volatile Evolution (2013) Orbitador para estudios de detalle de la atmósfera marciana y de los tenores de agua.

Una mención especial merece el proyecto Mars Science Laboratory – Curiosity iniciado en 2009. La misión despegó a fines de noviembre de 2011 y el descenso se produjo a principios de agosto de 2012 en el área del cráter Gale (Fig. 1) ubicado en la región ecuatorial marciana. El Curiosity es el vehículo robótico más grande y avanzado jamás construido (Fig. 2). Puede desplazarse a una velocidad máxima de 4 cm/seg y está capacitado para hacerlo en pendientes del orden de los 45°. La región del cráter Gale se seleccionó porque en ella se reconocen depósitos de ambientes sedimentarios de baja energía: rocas sedimentarias de grano fino (pelíticas) originadas en sistemas fluvio-



1. Marte con algunas de las localidades clásicas de estudio geológico (letras blancas) y los sitios de descenso de los principales laboratorios (letras amarillas).



2. Autorretrato del *Curiosity* sobre la superficie marciana (región del Monte Sharp).

deltaicos y lacustres, y sucesiones evaporíticas, constituidas por sales precipitadas a partir de soluciones acuosas. El *Curiosity* posee instrumentos para realizar sondeos de las rocas superficiales y para detectar compuestos orgánicos, medir contenidos de carbono orgánico total (TOC) y determinar composiciones isotópicas de carbono y azufre. La misión tiene claros objetivos geológicos y fundamentalmente biológicos.

Marte, el planeta rojo

Marte es el cuarto planeta del sistema solar y es el segundo más pequeño después de Mercurio. Es un planeta rocoso que posee una atmósfera muy delgada. Sus atributos se comparan con los de la Tierra en la tabla 1A.

Se aprecia entonces que Marte es bastante más pequeño que la Tierra (Fig. 3), recibe mucha menor insolación y su superficie es considerablemente más fría que la de nuestro planeta. La presión atmosférica es muy baja y la composición de su atmósfera es

diferente, ya que está enriquecida en dióxido de carbono y los tenores de nitrógeno y oxígeno son comparativamente muy bajos.

La distancia entre Marte y la Tierra es muy variable, ya que por ser sus órbitas bastante excéntricas depende de la posición de ambos planetas. Se considera que dicha distancia es de 0,5 a 2,5 veces la que media entre la Tierra y el Sol. Si esta última está en el orden de los 150.000.000 km, entonces nuestra separación de Marte varía entre 75.000.000 km y 375.000.000 km.

En cuanto a su estructura interna, se infiere que Marte, al igual que la Tierra, posee un núcleo, un manto y una corteza. El núcleo, con unos 1.500 a 2000 km de espesor, sería rico en hierro acompañado por menores proporciones de níquel y sulfuros metálicos. Como Marte tiene un campo magnético muy débil, se asume que el núcleo se encuentra en estado sólido.

El manto, con 1300 a 1800 km de espesor, es de composición silicática y en promedio estaría constituido por un 65% a 80% de olivina (un silicato de magnesio y

	Marte	Tierra
Radio ecuatorial	3.396 km	6.378 km
Distancia al Sol	230.000.000 km	149.600.000 km
Atmósfera	CO2: 95,32 % N2: 2,7% Ar: 1,6% O2: 0,13% H2O (vapor): 0,03%	N2:78,08% O2: 20.95% Ar: 0,93% CO2: 0,036 % H2O (vapor) 0,001%
Temperatura media superficial	-63° C	15° C
Temperatura mínima	-140° C	-89° C
Temperatura máxima	20° C	58° C
Presión atmosférica	600 pascales (30 – 1155 pascales)	101.300 pascales al nivel del mar

1A. Comparación de los atributos de la Tierra y Marte.



3. Imágenes comparativas entre las dimensiones de la Tierra y Marte.

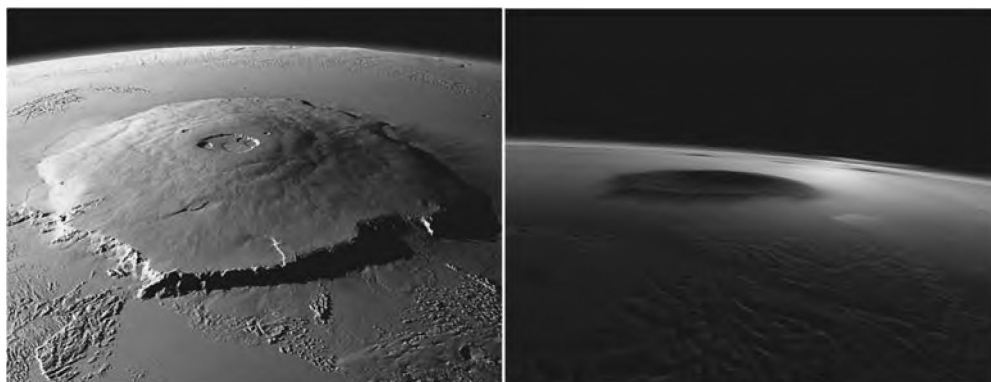
hierro que cristaliza a muy elevada presión y temperatura). Al igual que en la Tierra, esta composición es evidencia de alto calor interno y del potencial de escape del mismo hacia la superficie a través de puntos calientes denominados plumas mantélicas.

La corteza marciana posee espesores

entre 15 km y 130 km. Se encuentra en estado sólido y está constituida por una única placa de composición basáltica. Los volcanes superficiales de Marte no tienen un desarrollo lineal y son similares a los volcanes terrestres del interior continental. En tal sentido, el *Curiosity* muestreó en 2013 y en el sitio *Jake_M* una roca denominada mugarita que se caracteriza como un basalto alcalino que ha sido formado por una lava derivada de un magma a alta presión procedente del manto marciano. Lo interesante de este hallazgo es que se trata de una roca muy semejante a las que se generan en nuestras islas oceánicas (por ejemplo las islas de Japón) y *rifts* continentales (como el Gran Valle de África Oriental). Incluso, los científicos suponen que este tipo de rocas puede ser mucho más frecuente en Marte que en la Tierra.

Procesos que operan en la superficie marciana

La superficie marciana está modelada por una serie de procesos que se relacionan con cuestiones extraplanetarias, de dinámica interna o endógena, y de dinámica externa o exógena. El factor extraplanetario más destacado en la modelación de la superficie de Marte es el impacto de meteoritos y la generación de cráteres que se cuentan por miles. Los cráteres pueden tener diferentes morfo-



4. Monte Olimpo (*Olympus Mons*) el volcán con mayor desarrollo del Sistema Solar.

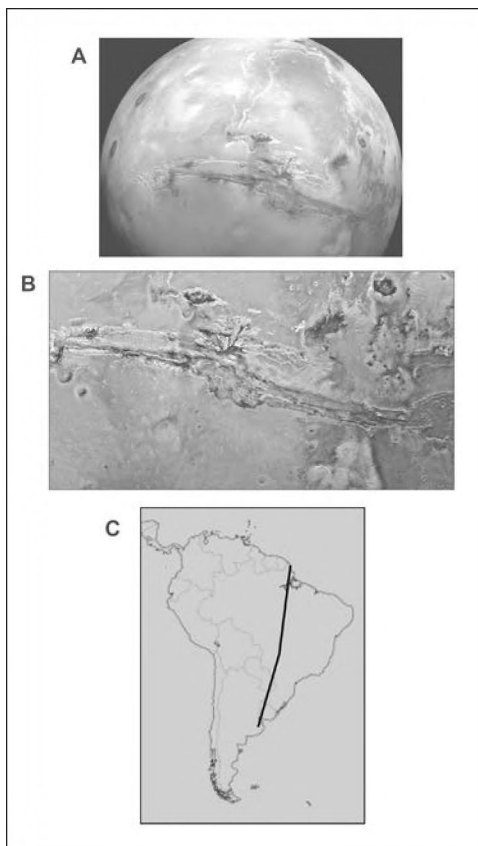
logías, aunque en su mayoría son de contorno circular. Su diámetro puede variar desde unos pocos kilómetros hasta los 70 km, y algunos poseen en su periferia varios anillos concéntricos de colinas. Particularmente, las paredes de muchos de estos cráteres han sido seleccionadas para el estudio de la constitución de la corteza marciana, dada la buena calidad de los afloramientos rocosos.

El principal proceso de actividad endógena del planeta es el volcanismo. La homogénea constitución de la corteza marciana, de composición basáltica, permite deducir que está conformada por una única placa tectónica. Esta es una diferencia fundamental con respecto a nuestro planeta cuya corteza está conformada por múltiples placas que se desplazan diferencialmente unas de otras y que generan áreas de extensión de la corteza y áreas de convergencia cortical. Esta dinámica, conocida como tectónica de placas, es la principal responsable de la generación de los sistemas de montañas y de las cuencas sedimentarias de la Tierra, pero es un mecanismo que no parece haber operado a lo largo de la historia geológica de Marte. Así entonces, los principales desniveles de la superficie de Marte se deben a la actividad del volcanismo y al impacto de los meteoritos.

Si bien se asume que a lo largo de su historia geológica el volcanismo ha ido reduciendo su intensidad, no es menos cierto que Marte posee el volcán más grande de todo el sistema solar, el *Olympus Mons*. Se trata de un gigantesco volcán en escudo que se eleva más de 21 km sobre el nivel medio de la superficie marciana y alcanza un diámetro del orden de los 600 km (Fig. 4). Independientemente de las exploraciones recientes,

el *Olympus* ya había sido descubierto y descrito como una montaña por observaciones desde la Tierra pero en 1971 el *Mariner 9* permitió determinar que se trataba de un volcán. Por su constitución el *Olympus* es similar a los volcanes de la región de Hawaii. Está formado por una notable superposición de coladas de lavas basálticas que fueron extruidas desde hace más de 3.000 millones de años y que incluso muestran actividad relativamente reciente. La tan larga vida del *Olympus* y su permanente localización en un mismo punto sugieren que se relaciona con el persistente emplazamiento de una pluma mantélica.

Otro de los rasgos destacados de la superficie de Marte es el *Valles Marineris*. Se trata de un surco ubicado en la región ecuatorial que posee aproximadamente unos 4000 km de longitud (es decir $\frac{1}{4}$ parte del recorrido superficial del planeta), entre 50 y 100 km de ancho y 2 a 8 km de profundidad. La Fig. 5 muestra la ubicación y extensión del *Valles Marineris* y una imagen de parte de la superficie de la Tierra en la que se aprecia la extensión que posee este surco. Su origen es todavía motivo de discusión. Hay autores que lo consideran como producto de una actividad tectónica de extensión, que generó una gran grieta tectónica de la corteza limitada por fallas hace unos 3.500 millones de años. Asimismo, la subsidencia habría favorecido el afloramiento de aguas subterráneas y el subsecuente proceso hídrico erosional. Estos sistemas fluviales, acompañados de importantes deslizamientos de laderas, habrían contribuido a la profundización, ensanche y configuración actual del cañón. Por su parte, los autores que descreen del



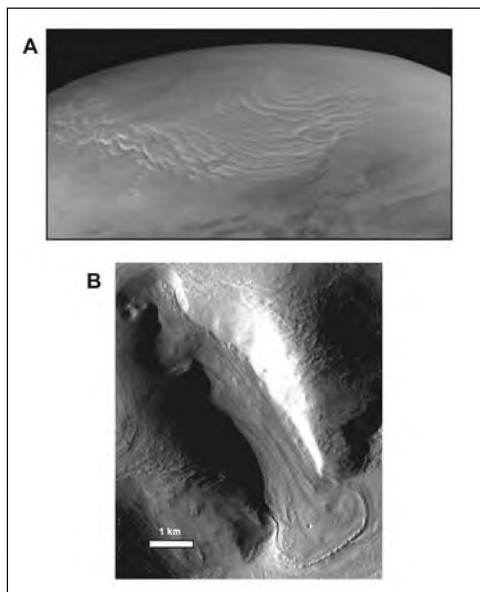
5. A y B: El gran surco denominado *Valles Marineris* en la región ecuatorial marciana. C: para una mejor idea de la extensión de esta estructura geológica se muestra con una línea gruesa la extensión de esta estructura (4.000 Km) en un mapa de Sudamérica.

origen tectónico del *Valles Marineris* sostienen que, por su ubicación ecuatorial y por su alineamiento con la orientación del proceso de rotación planetaria, su origen podría estar vinculado a la formación de un surco debido al pasaje rasante (ángulo menor a 15°) de un meteorito, asteroide o una primitiva luna de Marte.

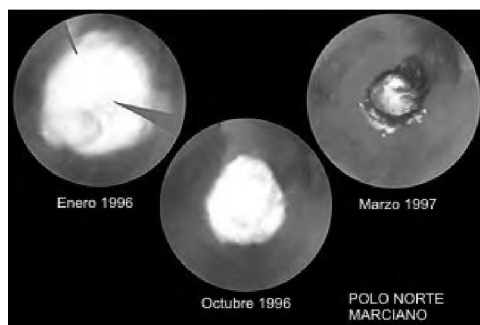
En lo que hace a los procesos exógenos, es oportuno señalar en primer término que la presencia de agua en estado líquido sobre la superficie de Marte es todavía motivo de debate, ya que todavía no se han esgrimido evidencias que resulten contundentes. En cambio, se sabe con certeza que el agua está congelada en la criosfera, es decir en las calotas polares (Fig. 6) y en las áreas de permafrost (subpolares y en las más altas elevaciones volcánicas). Los volúmenes de hielo en las regiones polares son muy importantes. Por ejemplo, en el polo sur marciano se estima en el orden de $1.600.000 \text{ km}^3$, (comparativamente alrededor del 6% del total del volumen de hielo que posee la Antártida) e incluso algunos modelos consideran que pueden alcanzarse cifras de entre $2 \times 10^6 \text{ km}^3$ y $6 \times 10^6 \text{ km}^3$. Asimismo, se ha encontrado que esta calota polar está cubierta por una capa de CO_2 congelado (hielo seco).

Marte muestra marcados cambios estacionales, con sus respectivos solsticios y equinoccios, razón por la cual, y a diferencia de lo que ocurre en nuestras regiones polares, la superficie que ocupan las masas congeladas varía notablemente (véase Fig. 7). Se podría asumir entonces que con el aumento de la radiación solar se podría producir fusión de las masas de hielo y aparición de agua en estado líquido. No obstante, aún cuando en la superficie marciana se alcancen altas temperaturas (superiores a 0° C), el hielo debido a la baja presión atmosférica se sublima (vaporiza) pero sin pasar por el estado líquido.

La actividad exógena sobre la superficie marciana se reduce fundamentalmente a los procesos eólicos y a los de remoción en masa. Los procesos eólicos se manifiestan en forma permanente y modelan la totalidad de la superficie del planeta. Las dunas de arena eólica aparecen preferentemente



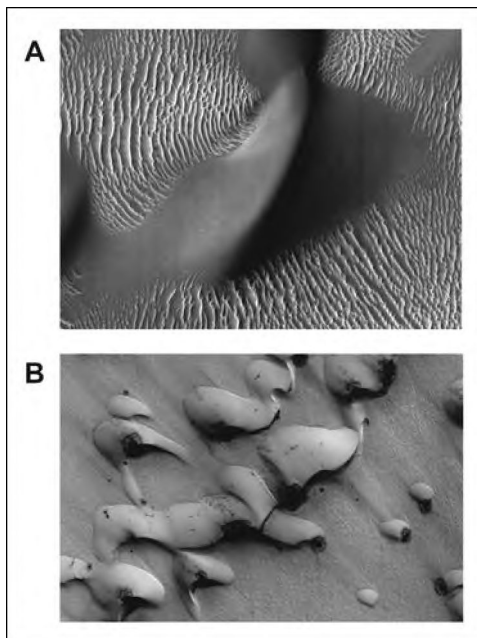
6. A: La calota polar norte de Marte. B: un glaciar de valle desarrollado sobre la superficie marciana.



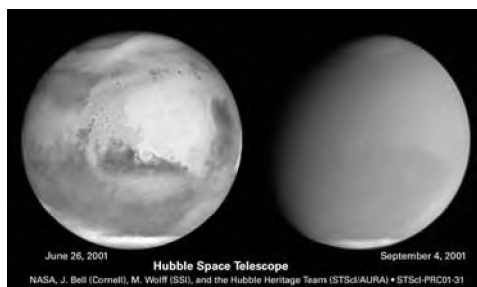
7. Cambios notables en la calota glacial del polo norte de Marte acaecidos en breves lapsos (octubre, 1996, enero y marzo de 1997).

en las regiones de altas latitudes y poseen continuidad y geometrías espectaculares (Fig. 8). Estas arenas están compuestas tanto por detritos de origen volcánico como por granos de sal. Por su parte, los polvos eólicos (constituidos por partículas de grano muy fino) tapizan buena parte de la superficie marciana, ya que son movilizados por gigantescas tormentas de viento que, tal como se muestra en la Fig. 9, pueden alcanzar un desarrollo generalizado.

El transporte (remoción) en masa de materiales detríticos ocurre en las regiones donde se dan fuertes pendientes, en particular en los flancos de cráteres de impacto y en la depresión de *Valles Marineris*. En la Fig. 10 se pueden apreciar los principales atributos morfológicos. El depósito sedimentario



8. A: campo de dunas eólicas sobre la superficie marciana. B: detalle del desarrollo de dunas barjanoides y barjanes (dunas eólicas transversales).

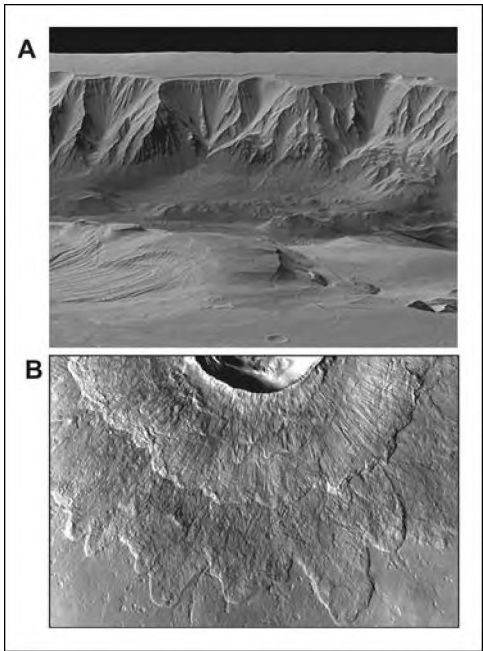


9. Vistas de los cambios producidos sobre la superficie de Marte a raíz de una tormenta de polvo de carácter global.

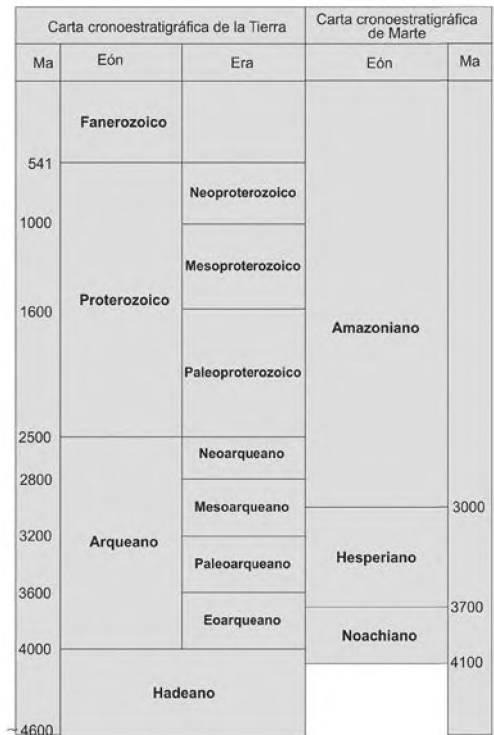
posee una característica geometría lobulada que es propia de los materiales originados por flujos de detritos (de desplazamiento súbito y veloz), en tanto que el área de desgarré suele tener forma de artesa o de surco curvado.

La estratigrafía marciana

La carta estratigráfica de Marte es aún muy rudimentaria. Consta tan sólo de tres grandes eones, denominados Noachiano, Hesperiano y Amazoniano. Este esquema guarda grandes diferencias con respecto a la escala de tiempos geológicos terrestre (Fig. 11). El Noachiano, que es el más



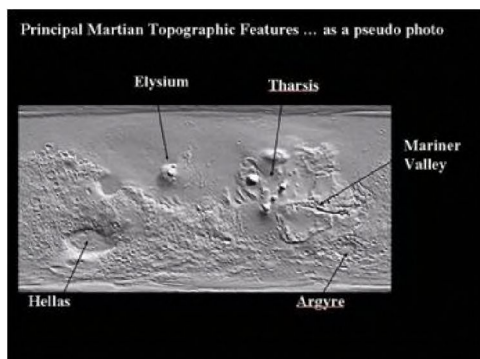
10. A y B: depósitos sedimentarios de geometría lobulada producidos por movimientos de remoción en masa rápidos que se generan en áreas con marcados desniveles en la topografía.



11. Esquema general de la estratigrafía marciana y su comparación con la carta estratigráfica de la Tierra. Los límites aproximados para cada uno de los grandes períodos de la historia marciana pertenecen a Hartmann y Neukum (Space Science Review 96, pp. 165–194, 2001).

antiguo, posee un edad superior a los 3,7 Ga (3.700.000.000 años). El Hesperiano comprende desde los 3,7 Ga hasta los 3,0 Ga (3.000.000.000 años) y el Amazoniano corresponde a los tiempos más jóvenes que 3 Ga.

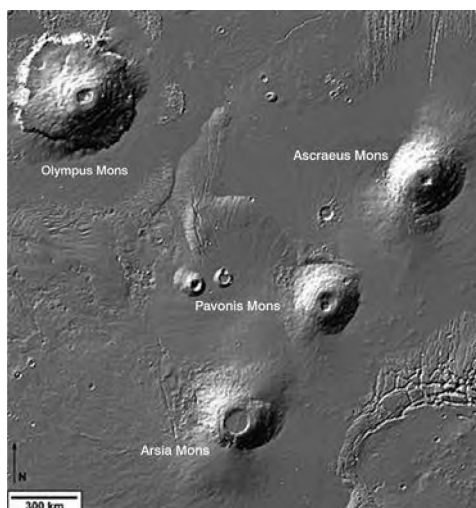
El **Noachiano** se define como un tiempo en el que las condiciones superficiales en Marte eran húmedas y con un pH neutro (*wet, neutral pH Mars*). Está caracterizado por una muy importante craterización, en la que se destacan los grandes cráteres de impacto del hemisferio sur conocidos como *Hellas* y *Argyre* (Fig. 12). Asimismo este eón se caracteriza por una amplia actividad volcánica, esencialmente representada por el *Tharsis Bulge* que constituye un amplio plateau que contiene a varios de los volcanes más imponentes del sistema solar (Fig. 13). Las condiciones húmedas se manifiestan en procesos de erosión hídrica generalizados, formación de redes de valles y procesos de meteorización (descomposición de masas rocosas por acción del agua y otros componentes).



12. Imagen satelital del *Valles Marineris*, de los grandes cráteres de impacto *Hellas* y *Argyre* y del plateau volcánico de *Tharsis*.

El **Hesperiano** muestra un cambio en la físicoquímica de la superficie, ya que si bien persisten las condiciones de humedad, el pH fue predominantemente ácido (*wet, acidic pH Mars*). Hubo continuidad de la actividad volcánica y el desarrollo de amplias planicies basálticas, mientras que el proceso de craterización se redujo. Se documentan importantes procesos de glaciación en las regiones circumpolares; tal el caso de la Formación *Dorsa Argentea* (Fig. 14) que está constituida por depósitos formados por la acción glacial y también por aguas de derretimiento, a partir de los cuales se han inferido procesos de fusión, sublimación y de avance-retroceso de la masa de hielo. La prevalencia de climas húmedos durante el Hesperiano se manifiesta en la excavación de cañones, en tanto que importantes oscilaciones climáticas se definen a partir de la generación episódica de grandes cuerpos de agua (¿mares – lagos?), sistemas deltaicos, y una profusa acumulación de un registro sedimentario de variada composición (desde sedimentos detríticos de variada granulometría a importantes espesores de rocas salinas).

Los últimos 3.000.000.000 de años muestran un Marte notoriamente cambiado. El **Amazoniano** es un tiempo en el que prevalecen condiciones secas (*dry Mars*). Se lo considera una era criosférica, de acumulación y desplazamiento de hielo, en la que son característicos los depósitos estratificados glacígenos polares y de los flancos de los volcanes. Prácticamente desaparece la actividad del agua en la superficie, y la generación de sedimentos se concentra en mecanismos



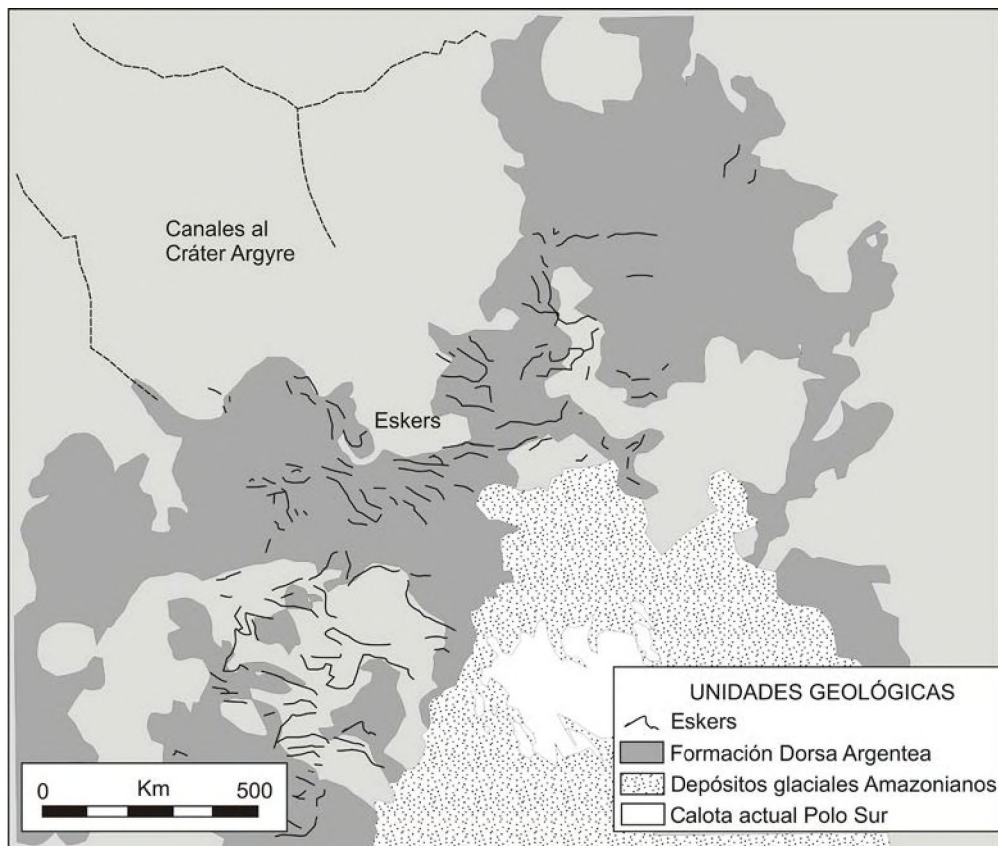
13. Imagen satelital del *Tharsis Bulge* y de sus más conspicuos centros de emisión volcánica.

de transporte en masa en los flancos de los cañones y cráteres, así como en procesos de erosión, transporte y acumulación eólicos. Aun cuando continuó el crecimiento del cuerpo principal del volcán *Olympus Mons*, en el Amazoniano la actividad volcánica se redujo en forma muy notoria.

Una de las cuestiones que ha sido ampliamente debatida es por qué acaeció la desecación notable en el pasaje Hesperiano – Amazoniano. Las interpretaciones basadas en reciente información del orbitador MAVEN (*Mars Atmosphere and Volatile Evolution*) sugieren que hace alrededor de 3 GA numerosas tormentas solares (Sol muy activo e inestable) produjeron un bombardeo de partículas que erosionó la alta atmósfera marciana y condujo a la pérdida del agua.

¿Agua en estado líquido?

Si bien hay investigadores que se inclinan por sostener la inexistencia de agua líquida sobre la superficie marciana en los tiempos presentes, existen otros que consideran que ello no es así, aunque siempre en cantidades exiguas y bajo circunstancias especiales. En tal sentido, diversos depósitos de flujos de detritos, similares a los que se identifican en la Tierra en regiones de altas latitudes (como por ejemplo los del archipiélago de Spitzbergen en el Ártico de Noruega), muestran geoformas de una antigüedad no

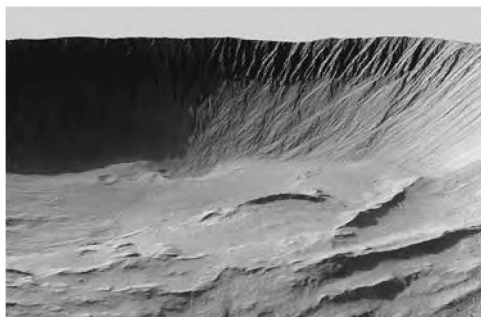


14. Mapa geológico de la región de *Dorsa Argentea* (Scanlon y Head, Lunar and Planetary Science Conference, 1477, 2014). Se muestra la distribución de depósitos polares amazonianos y el desarrollo de la Formación Dorsa Argentea con acumulaciones glaciales, lacustres y de cauces generados por aguas de derretimiento (eskers).

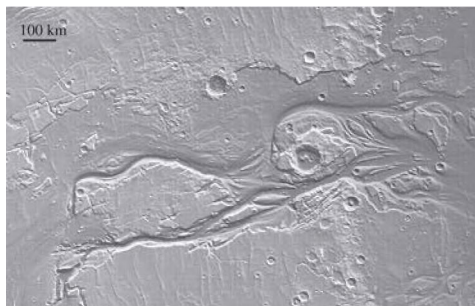
mayor a 1 millón de años, que se explican por la actividad de aguas de derretimiento glacial (Fig. 15). Este fenómeno tan particular habría estado favorecido por la existencia de un período interglacial en tiempos en que la inclinación del eje de rotación de Marte tuvo un alto valor angular.

Lo que ya no es materia de discusión es la abundancia de agua líquida en el pasado marciano, particularmente en el Noachiano y en el Hesperiano. Las evidencias contundentes a favor de su presencia se basan en criterios geomorfológicos (de erosión y acumulación sedimentaria), en procesos de precipitación de sustancias a partir de soluciones acuosas y en procesos de descomposición de masas rocosas (meteorización).

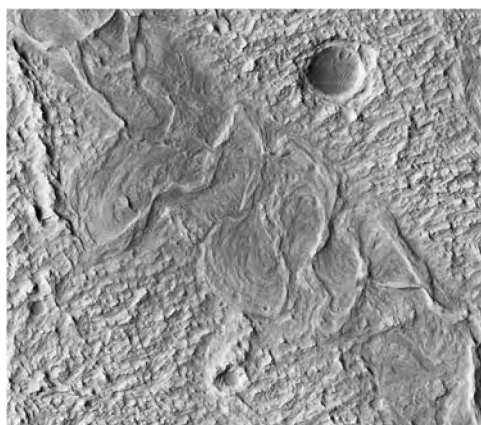
Entre los rasgos geomorfológicos y sedimentológicos es destacable el desarrollo de redes de drenaje fluviales (Fig. 16), de magníficos canales con diseño meandroso (Fig. 17) y de excelentes ejemplos de sedimentación deltaica. En especial, los deltas



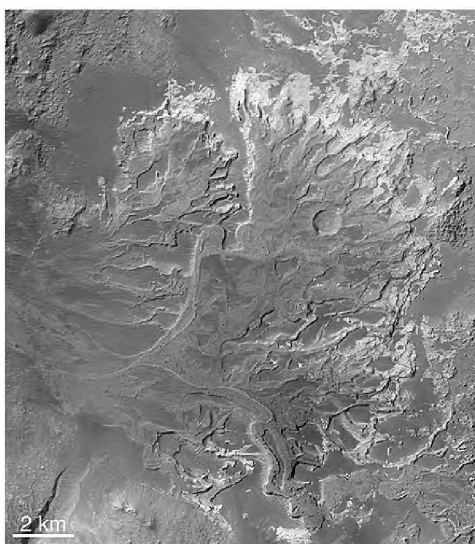
15. Depósitos sedimentarios formados en regiones con marcado desnivel topográfico (*Istok crater*). Los lóbulos muestran redes de canales distributarios que se deberfan a la circulación de aguas de derretimiento glacial.



16. Imagen satelital del *Kasei Vallis* que muestra uno de los más grandes sistemas fluviales de Marte. El flujo de agua fue de izquierda a derecha de la imagen (Carr, Royal Society Philosophical Transactions 370, pp. 2193-2215, 2012).



17. Imagen satelital de la región de *Aeolis Planum* que permite apreciar el excelente desarrollo de un sistema fluvial con diseño meandroso.

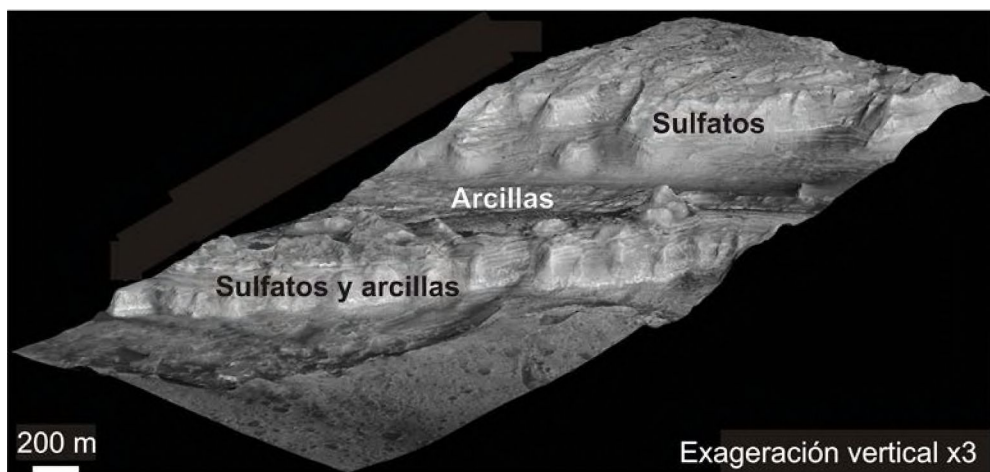


18. Imagen satelital del cuerpo deltaico *Eberswalde*.

implican no sólo un proceso de transporte por canales fluviales sino también la desembocadura de los mismos en un cuerpo de agua (mar o lago). Si bien existen varios ejemplos de deltas documentados en Marte, el estudio más completo es el del Eberswalde Delta (Fig. 18) que ha permitido identificar depósitos de distintos ambientes (planicie, frente deltaico y prodelta), el crecimiento de varios lóbulos y conocer la geometría de los cuerpos sedimentarios que permite establecer fluctuaciones en la posición del nivel del cuerpo de agua.

Los procesos hídricos sobre la superficie de Marte también se definen a partir de algunos minerales que se forman por precipitación a partir de soluciones ácuas o que son producto de la descomposición de otras especies. Entre ellos se destacan los componentes de rocas evaporíticas, como la halita (cloruro de sodio), la jarosita (sulfato de potasio y hierro) y el yeso – anhidrita

(sulfatos de calcio); también los silicatos argilominerales (por ejemplo caolinita), los carbonatos de calcio (calcita) y los óxidos de hierro (hematita). Se supone que las soluciones fueron predominantemente ácidas, dado la muy escasa proporción de carbonatos de calcio (que se disuelven en condiciones de pH bajo), la presencia de jarosita y los elevados tenores de bromuros respecto a cloruros, formados a partir de salmueras fuertemente concentradas. Información obtenida por vehículos exploradores de la superficie (*rovers*) así como desde equipos orbitales ha mostrado el desarrollo de extensas áreas (superiores a los 300.000 km²) con exposiciones que superan los 500 m de espesor, constituidas por una sucesión en las que se identifican depósitos de sales evaporíticas. Ejemplos de estos registros han sido descritos en el Tithonium Chasma



19. Imagen en perspectiva de la sucesión sedimentaria en el cráter Gale que muestra la sucesión sedimentaria compuesta por depósitos de sales sulfáticas y por rocas de naturaleza arcillosa. El espesor estimado del conjunto alcanza alrededor de 300 m.

(región del Valles Marineris) y en el cráter Gale (Fig. 19) y ponen en evidencia que su acumulación se produjo en un cuerpo de agua que ocupó una gran superficie (mar o lago) y persistió durante un tiempo geológico considerable.

muchas más incógnitas. Y muy posiblemente nos muestren que no estamos (o no hemos estado) tan solos en el sistema solar.♦

A modo de epílogo

Esta síntesis es simplemente ilustrativa e incompleta. Hay otros aspectos geológicos de los que se tiene buen conocimiento que no han sido abordados. No obstante, queda todavía mucho por investigar sobre Marte. Entiéndase que los equipos enviados, aunque altamente sofisticados, no permiten tener una absoluta certeza sobre muchos de los atributos naturales del planeta. Más aún, hasta ahora no ha sido posible acceder al contacto directo con los sedimentos y las rocas marcianas, y ello no se concretará hasta que una misión humana pueda ser puesta sobre su superficie o bien cuando resulte viable el traslado de muestras desde Marte hacia la Tierra.

Como se ha tratado de ilustrar, en Marte se definen procesos geológicos similares a los de la Tierra, pero también hay otros muy distintos. Justamente estas similitudes y diferencias han contribuido a ampliar en los últimos años el pensamiento científico.

Inminentes tareas de exploración brindarán nuevos datos y producirán, de seguro,

Luis A. Spalletti
 Centro de Investigaciones Geológicas
 (UNLP-CONICET)